

## **PROYECTO DEMOSTRATIVO BIOCLIMATICO EN SAN LUIS. TECNOLOGIA y MONITOREO TERMICO EXPERIMENTAL\***

**Jorge Follari<sup>1</sup> y Celina Filippín<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Universidad Nacional de San Luis, Chacabuco y Pedernera, San Luis (5700). Argentina. E-mail: jfollari@unsl.edu.ar

<sup>2</sup> CONICET, Av. Spinetto 785, Santa Rosa, La Pampa (6300). Argentina. E-mail: cfilippin@cpenet.com.ar

Ente Promotor: Mutual de la Universidad Nacional de San Luis

*Recibido:10-10-11; Aceptado:31-10-11.*

**RESUMEN.-** Se describe el comportamiento térmico de una vivienda bioclimática en la localidad de San Luis. Los lineamientos generales del diseño fueron: a- minimizar el consumo de energía convencional en el acondicionamiento térmico-lumínico a través del calentamiento pasivo, ventilación e iluminación natural y una envolvente de baja transmitancia térmica, b- usar tecnología tradicional c- minimizar el sobre-coste de solarización y conservación. El 70% del área útil está solarizada (ganancia solar directa = 14.5% respecto al área útil). La resistencia térmica de la envolvente es = 2.18 y 2.44 m<sup>2</sup>°C/W para pared y techo, respectivamente. El monitoreo experimental se inició el 15 de enero de 2009. Los resultados mostraron que, en condiciones reales de uso, pero con hábitos inadecuados y, sin acondicionamiento mecánico, la temperatura media interior fue de 26°C en enero y en febrero (temperatura media exterior 24.8 y 24.4°C, irradiancia solar sobre superficie horizontal entre 900 y 1000 W/m<sup>2</sup>). Durante la primera quincena de junio la temperatura exterior alcanzó un valor mínimo de 2.9°C. Sin calefacción auxiliar, tanto en el estar-comedor como en el dormitorio norte, la temperatura mínima fue de 17.5°C. En el dormitorio sur la temperatura mínima fue de 15.6°C. En julio la temperatura interior de la vivienda estuvo 9.9 °C por encima de la media exterior, que fue de 9.7°C, con un consumo diario de energía en calefacción equivalente a 1.42m<sup>3</sup> de gas metano. El déficit de energía se puede cubrir también con 4m<sup>2</sup> de colectores solares (rendimiento del 57%) y un termo-tanque de unos 500 litros. El sistema diseñado a partir del monitoreo experimental de la vivienda puede proveer el consumo medio de ACS y calefacción. Por supuesto es necesario el apoyo de gas o eléctrico para los días con ausencia de sol y/o períodos de intenso frío.

**Palabras claves:** Diseño bioclimático - Solarización – Conservación – Monitoreo experimental - Calefacción: solar - gas

### **BIOCLIMATIC DEMONSTRATIVE PROJECT IN SAN LUIS, ARGENTINA. TECHNOLOGY AND EXPERIMENTAL THERMAL MONITORING**

**ABSTRACT.-** We describe the thermal behavior of a bioclimatic house in the town of San Luis. The general design guidelines were: a- minimize the consumption of conventional energy in the thermal conditioning, through passive heating, ventilation and natural lighting and a low thermal transmittance envelope, b- use traditional technology c- minimize bioclimatic extra cost. 70% of the usable area is solarized (direct solar gain = 14.5% according the usable area). The thermal resistance of the enclosure is = 2.18 and 2.44 m<sup>2</sup> °C / W for wall and ceiling, respectively. Experimental monitoring began on January 15, 2009. During January and February, under real conditions of use, but with inadequate habits and without mechanic conditioning, the results showed that the average indoor temperature was 26°C (average outside temperature 24.8 and 24.4 °C, solar irradiance over horizontal surface between 900 and 1000 W/m<sup>2</sup>). During the first two-week period of June the outdoor temperature reached a minimum value of 2.9 °C. Without auxiliary heating, the minimum temperature in the dining-room and in the bedroom facing north was around 17.5°C. In the bedroom facing south the minimum temperature was 15.6 ° C. In July, the indoor temperature was 9.9°C above the outdoor temperature (9.7°C) with a daily consumption of energy heating equivalent of 1.42m<sup>3</sup> of methane gas. The energy deficit can be covered also with 4m<sup>2</sup> of solar collectors ( $\eta$  = 57%) and a thermo tank of 500 liters. The system designed from experimental monitoring can provide the average consumption of water and heating. Of course it requires the support of gas or electricity for days with cloudy days and / or periods of intense cold.

**Keywords:** Bioclimatic design – Solarization – Conservation –Experimental monitoring – Heating: solar and gas

\* Parcialmente financiado PAE 2004 N° 22559

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante 2002 surgió en la Mutual de Vivienda y Consumo de la Universidad de San Luis la idea de lotear un terreno de su propiedad para construir un barrio de 300 viviendas. En el diseño de las viviendas y su implantación debía responder a criterios bioclimáticos. En 2007 se realizó una presentación oral con una primera aproximación. Hacia fin del mismo año se inició la construcción de una de las viviendas como proyecto demostrativo (PD), que sería la sede futura de la Mutual. Cuál sería la finalidad? estudiar su comportamiento térmico durante un año y, a partir de los

resultados ratificar y/o rectificar las propuestas del diseño antes de la construcción masiva del barrio.

### 1.1. Localización y emplazamiento

La localidad de San Luis pertenece a la zona bioambiental III<sub>a</sub> (Templado cálido) según la Norma IRAM 11.602 (Figura 1). Está a 33°3' y 66°4' de latitud sur y longitud, respectivamente (altura sobre el nivel del mar: 713m). Las direcciones predominantes del viento son: N y E-SE (Chorrillero) que concentran más del 80% de él. La Tabla 1 muestra algunos datos climáticos. Corresponde a la zona moderada de riesgo sísmico.

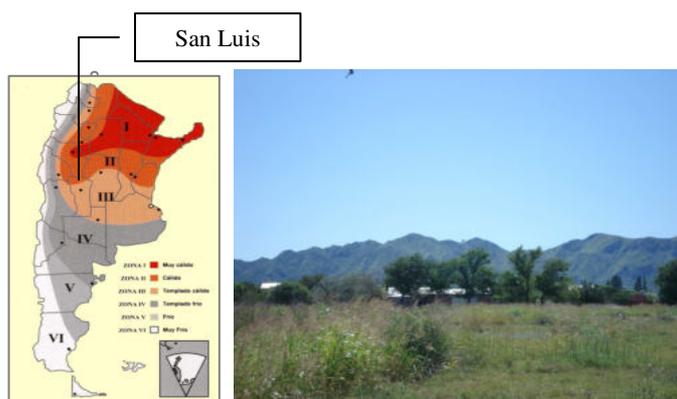


Fig. 1: Ubicación de San Luis en la zona bioambiental. A la derecha terreno y entorno.

Tabla 1: Coordenadas geográficas y variables climáticas Latitud: 33°.3'; longitud: 66° 4' y altura sobre el nivel del mar: 713 m.

Valores anuales	Temperatura media (°C)	máxima	22.8
		mínima	13
		media	17.2
	Radiación media anual sobre superficie horizontal (MJ/m <sup>2</sup> )	17	
Humedad relativa (%)		57	
Temperatura de julio (°C)	mínima media	5.0	
	media	9.1	
	máxima media	17.6	
	mínima absoluta	-4	
Amplitud térmica de invierno (°C)		14.2	
Velocidad media del viento en invierno (m/s)		2.5	
Radiación solar media julio sobre superficie horizontal (MJ/m <sup>2</sup> ) [*]		9.2	
Temperatura de enero (°C)	máxima media	29.3°C	
	media	24.4	
	mínima media	20.0	
	máxima absoluta	38.6	
Amplitud térmica de verano (°C)		9.3	
Velocidad media del viento en verano (m/s)		6.5	
Radiación solar media enero sobre superficie horizontal (MJ/m <sup>2</sup> ) [*]		24.9	
Grados-día de calefacción base 18°C		871	
Grados-día de enfriamiento base 23°C		533	

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (1992) [\*] Grossi Gallegos y Righini (2007).

## 2. DISEÑO Y TECNOLOGIA.

El PD es una vivienda de dos dormitorios. El estar-comedor y uno de los dormitorios se orientan al Norte, el otro, en el lado Sur, tiene una ventana alta para obtener ganancia solar directa (Figura 4). Se plantea el uso de paredes tri-capa: ladrillo macizo como masa térmica en el interior (espesor = 0.18m), aislación térmica de poliestireno (espesor = 0.05m) La protección mecánica externa de la aislación térmica es de ladrillo cerámico hueco de 0.08m de espesor en el muro Oeste, de revoque común sobre metal desplegado en el muro Este y Sur ( $R= 2.18 \text{ m}^2\text{C/W}$ ). En el muro Norte (predominancia de vanos) y para disminuir la complejidad de una pared tri-capa en el encuentro con la carpintería se plantea hacia el exterior una pared de bloque cerámico autoportante de 0.12m de ancho, manteniendo la pared interior de ladrillo macizo ( $R= 2.01 \text{ m}^2\text{C/W}$ ). La cubierta está formada por: a- una estructura resistente de losa prefabricada b-aislación térmica de poliestireno expandido (7.5cm) c- hormigón alivianado con la pendiente necesaria para el escurrimiento del agua (base resistente de la membrana hidrófuga) ( $R=2.44 \text{ m}^2\text{C/W}$ ) (Figuras 3 y 4). Como resultado de la pared de ladrillo macizo en el interior de la envolvente vertical y el uso de paredes interiores macizas, el edificio es de alta inercia ( $400 \text{ kg/m}^2$ , Goulding et al., 1994). La carpintería es de aluminio pre-pintada con ruptura de puente térmico. Las áreas transparentes son de DVH (doble vidriado hermético). Al tratarse de una vivienda que debe minimizar los costos de construcción y mantenimiento, se plantea una forma compacta (Índice de compacidad = 0.86) y energéticamente eficiente (Factor de área envolvente-piso = 2) (Mascaró, 1983; Esteves et al., 1997)). El valor de G (Coeficiente Volumétrico de Pérdidas) satisface los requerimientos de la Norma IRAM 11604. El

total de ganancia solar directa (área efectiva de vidrio) corresponde al 14.5 % de la superficie útil del edificio. Más detalle en Beascochea et al. (2008). La Figura 5 muestra imágenes tomadas durante la construcción del PD. En la Figura 6 se observa el PD terminado.

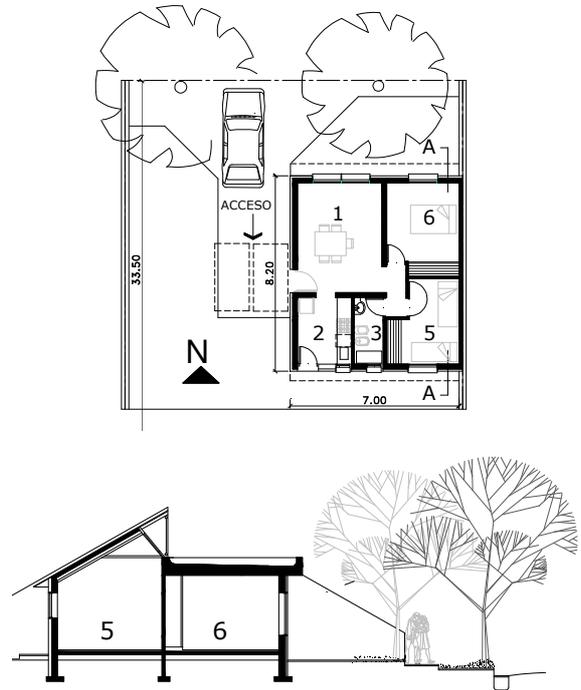


Fig. 2: Planta y corte transversal

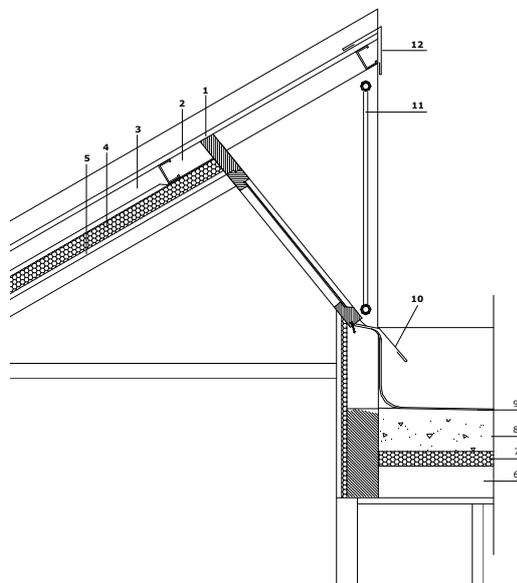


Fig. 3: Detalle constructivo envolvente vertical

### REFERENCIAS

1. Cubierta chapa galvanizada trapezoid.
2. Cierre tirante de madera de Pino para tratamiento de preservación según especificaciones técnicas
3. Cámara de aire ventilada.
4. Aislación térmica compuesta por:
  - a. Lana de vidrio tipo Rolac, de 7cm espesor, con barrera de vapor sobre cielorraso.
  - b. Membrana tipo Isolant de 2.5cm espesor, con barrera radiante aluminiz superior.
5. Cielorraso machimbre pino paraná de
6. Losa prefabricada según cálculo
7. Poliestireno expandido espesor: 7cm. 20Kg/m<sup>3</sup>.
8. Hormigón alivianado s/especificacione
9. Membrana hidrófuga s/especificacione
10. Antepecho-babeta, chapa galvanizac doblada a medida.
11. Toldo estacional.
12. Cumbre-goterón chapa galvanizad
13. Extractor eólico de chapa galvanizad

REFERENCIAS

1. Cimientos según cálculo
2. Contrapiso hormigón de cascotes 40 cm. Constr. Con piedras del lugar.
3. Piso baldosas cerámicas sobre carpeta hidrófuga.
4. Mampostería ladrillos 0.20 (adobones) terminación revoque común a la cal.
5. Alfeizar interior pieza granítica o de madera a medida.
6. Losa prefabricada según cálculo.
7. Poliestireno expandido espesor: 7cm, densidad: 20 kg/m<sup>3</sup>.
8. Hormigón alivianado s/especificaciones.
9. Membrana hidrófuga s/especificaciones.
10. Protección de carga y babeta, chapa galvanizada N° 20 doblada a medida.
11. Revoque especial tipo base Coat de Iggam, sobre red sintética o fibra de vidrio resistente a los álcalis.
12. Goterón moldeado en revestimiento.
13. Revoque idem 11, aplicado sobre poliestireno expandido de 5 o 7 cm de espesor, según orientación y de 15 kg/m<sup>3</sup> densidad.
14. Carpintería con premarco de madera dura 2"x2".
15. Alfeizar exterior pieza granítica a medida.
16. Doble aislamiento hidrófuga, sobre mampostería de adobones y exterior de ladrillos huecos de 0,12 cm, incluyendo pintura asfáltica.
17. Tabique de protección ladrillos de panderete.
18. Aislamiento Térmica: poliestireno expandido de 5 ó 7 cm de espesor, según orientación, y de 15 kg/m<sup>3</sup> densidad.
19. Zócalo exterior cemento alisado sobre aislación hidrófuga. Mínimo 15 cm desde nivel de terreno exterior.

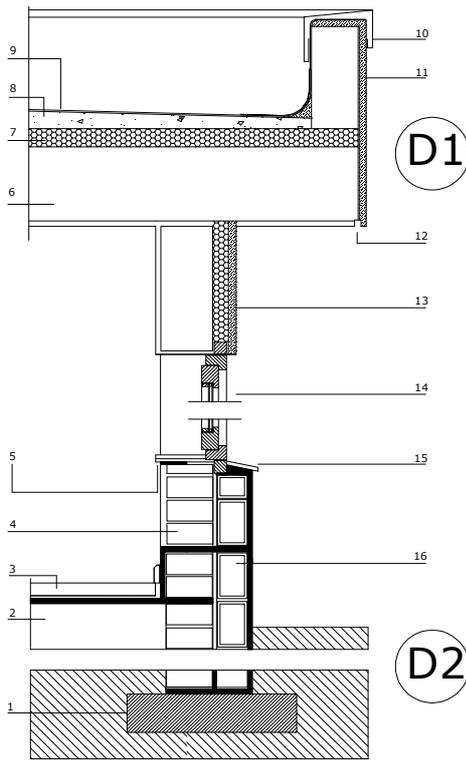


Fig. 4: Detalle constructivo de la envolvente superior.



Fig. 5: Aislamiento térmico en envolvente. Protección mecánica sobre aislamiento térmico en pared este: revoque sobre metal desplegado que no fue la especificada por los proyectistas en el pliego de licitación (centro), y en pared oeste, con ladrillo cerámico (derecha).



Fig. 6: Vivienda en condiciones uso (imagen del 28 de marzo)

### 3. MONITOREO TERMICO EXPERIMENTAL

#### 3.1. Evaluación de los edificios.

La evaluación *Post-ocupación* de los edificios es de vital importancia para asegurar una performance sostenida en el tiempo. El uso del edificio por parte de los ocupantes es un punto de referencia en la evaluación y los resultados, son un potencial enorme para asegurar un buen comportamiento (Nawwawi, A. y Khalil, N., 2008). Honge, et al. (2008), consideran que existe una brecha entre los resultados predichos durante la etapa de diseño y la performance real, los rendimientos son diferentes especialmente para los primeros años. Acordando con Way and Bordass (2005), el conocimiento informal y tácito durante la modelización del edificio doméstico en la etapa de pre-diseño, aportan resultados estimativos, resultados que deben ser contrastados con una evaluación post-ocupación para generar un feedback de información. Un estudio realizado por *New Building Institute* (2008) encontró que en los edificios LEED la performance es un 30% superior a la esperada. El estudio expresa también que algunos edificios tuvieron serios problemas en el consumo de energía, quizás causados por fallas técnicas, expectativas muy altas o también por un uso y operación inapropiada. Stevenson, Rijal (2008) expresan en su trabajo que una vivienda construida es generalmente testada en términos de requerimientos físicos de su performance, por tal motivo ellos introducen, para un prototipo experimental, una estrategia combinatoria que puede proveer de un entendimiento más completo de la performance para informar sobre posibles modificaciones antes de una construcción masiva de viviendas. La percepción del residente, el entendimiento y la interacción con las características del edificio tienen un efecto significativo en el consumo de energía. La mejor evaluación tiene que combinar aspectos cualitativos y cuantitativos. Actualmente existe un portfollio de técnicas disponibles para distintas tipologías de edificios.

Qué expresaban los autores sobre el diseño del PD y cuyo comportamiento se estudia? Los autores del diseño, aspiraban a lograr confort con un mínimo consumo de energía. En el trabajo de Beascochea et al. (2008) se muestra la simulación del comportamiento térmico estival e invernal a través del modelo SIMEDIF (Flores Larsen y Lesino, 2001). Los autores expresan que una adecuada aislación y masa térmica en la envolvente, un buen sistema de protección solar externo (cortina de enrollar), ventilación cruzada y un adecuado sombreado de las áreas transparentes (aleros, pérgolas con coberturas vegetales), para disminuir las cargas de refrigeración, permitiría mantener una temperatura de confort durante el verano para valores medios de temperatura exterior (Temperatura media: 24.4°C. Temperatura mínima: 20.0°C). La temperatura media interior podría variar entre los 24.8°C (área solarizada) y 24.6°C (no-solarizada). Para estas condiciones de diseño del proyecto demostrativo, la carga diaria de refrigeración sería de 44.3, 26.5 y 11.7 kWh para una temperatura base de 20, 22 y 24°C, respectivamente. Esta última es la temperatura más usada en los edificios de San Luis. Para una temperatura media de invierno de 10.2°C (media mínima = 3.8°C; media máxima = 17.9°C) y una irradiancia de 9.6 MJ/m<sup>2</sup> sobre superficie horizontal, y en condiciones reales de uso (se consideran las ganancias internas) el proyecto demostrativo (PD) alcanzaría una temperatura media de 17 °C sin calefacción auxiliar. La diferencia entre espacio solarizado (estar-comedor, dormitorios) y no solarizado (baño y cocina) es de alrededor de 1.5°C. Al tratarse de una vivienda másica la amplitud térmica interior es de alrededor de 5°C (amplitud térmica exterior = 14.2°C). El consumo diario de gas para calefaccionar sería de 1.06, 1.6 y 2.6 m<sup>3</sup> para una temperatura base de 18, 20 y 22°C. El ahorro de energía en calefacción sería de alrededor del 85% respecto al gas natural consumido por una vivienda convencional a 20°C. Al ahorro de energía en calefacción corresponde una

disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> (Factor de conversión: 0.20 kg/kWh).

Qué expectativas se generaron a partir de la construcción del PD? A través del monitoreo realizado en el primer semestre del 2009 se pretendió tener una primera aproximación de la performance. En ese momento asumimos que no eran las condiciones ideales de evaluación: la persona que la ocupaba cumpliría las funciones de sereno, y posteriormente sería ocupado como sede administrativa del comitente, y no por una familia.

El monitoreo se inició el 15 de enero de 2009 y finalizó el 31 de julio de 2009. Se usaron adquisidores de datos tipo HOBO. La radiación solar y la velocidad de viento fueron tomadas en la UNSL. Simultáneamente a la toma de datos el usuario dejó constancia de los horarios de apertura y cierre de aberturas. En cuanto a las condiciones climáticas externas los registros mostraron que la última quincena del mes de enero se caracterizó por días con cielo claro con una irradiancia solar sobre superficie horizontal máxima de 1000 W/m<sup>2</sup>. La temperatura máxima superó los 35°C y la mínima nunca estuvo por debajo de los 15°C. Febrero fue un mes con predominancia de días con cielo claro. Los primeros veinte días mostraron temperaturas que llegaron hasta los 35°C y no bajaron de los 17°C con valores de radiación máxima de 900 W/m<sup>2</sup>. Hacia los últimos días se observan dos jornadas con una temperatura máxima que no superó los 23°C y una irradiancia de 400 W/m<sup>2</sup>. Durante marzo 30 días tuvieron cielo claro con una irradiancia solar sobre superficie horizontal que osciló entre 800 y 900 W/m<sup>2</sup> de máxima. Las temperaturas fueron altas, superaron los 30°C con una máxima mensual de 33.6°C. La temperatura mínima nunca fue inferior a los 16°C.

En la Figura 7 se observa un histograma acumulado de los valores horarios de temperatura de enero, febrero y marzo para cada local solarizado. Se observa también en la misma

figura un diagrama de dispersión con datos de temperatura y humedad relativa (HR). Cuál sería el límite máximo de la temperatura y de la HR? Hay una gama diversa de observaciones y opiniones y no existe un criterio único para poder realizar una evaluación precisa del confort. En realidad es una zona en la cual no se produce un sentimiento de incomodidad y no tiene límites reales. Cualquier perímetro definitivo estará basado en asunciones arbitrarias (Olgay, 1998). Para el presente trabajo acordamos con Czajkowski y Gómez (1994) que dicen que la mayoría de los humanos se sienten inconfortables con ambientes que alcanzan 29.5°C y una HR del 30% o 27°C y HR del 60%. Tomamos como límite 27°C. En ningún caso para este valor de temperatura la humedad alcanzó el 60%, sí hay valores de 29.5°C y 30%, datos quedan fuera del límite máximo. Que período del mes el *usuario circunstancial* permaneció confortable? El diagrama de frecuencia acumulada durante enero nos expresa que tanto en el comedor como en el dormitorio norte el 80% del tiempo la temperatura interior estuvo por debajo de los 27°C. En el dormitorio sur, con ventana alta al norte y buena ventilación hacia el sur, llega hasta el 90%. Durante enero, sin acondicionamiento mecánico, la temperatura media en el PD fue de 26.0°C, 1.2°C por encima de la temperatura media exterior (24.8°C). El coeficiente de variación máximo corresponde al dormitorio norte con un valor del 5.8%, mientras que en el exterior fue del 18.8%. (Ver Tabla 3).

La misma figura muestra como hacia febrero se fue calentando la vivienda. En el gráfico de dispersión se observa respecto a enero un aumento de horas en que la temperatura pasó los 29.5°C y la HR llegó al 40%. Los gráficos de frecuencia acumulada muestran que tanto en el estar-comedor como en el dormitorio norte baja un 5% respecto a enero el porcentaje del tiempo en que la temperatura es inferior a 27°C

Tabla 3: Valores de temperatura media y variabilidad durante el verano.

Temperatura (°C)	Enero			Febrero			Marzo			
	Promedio	STD	CV	Promedio	STD	CV	Promedio	STD	CV	
Estar-comedor	26.1	1.4	5.2	26.2	1.7	6.4	26.0	1.3	5.2	
Cocina	26.9	1.5	5.6	26.7	1.8	6.7	26.6	1.6	6.2	
Baño	25.6	1.3	5.3	25.7	1.6	6.1	25.5	1.1	4.1	
Dormitorio	Sur	25.4	1.3	5.0	25.5	1.6	6.3	25.4	1.1	4.3
	Norte	25.8	1.5	5.8	26.0	1.7	6.4	25.7	1.2	4.7
Promedio Vivienda	26.0			26.0			25.8			
Exterior	24.8	4.7	18.8	24.4	4.9	20.3	24.6	3.6	14.9	

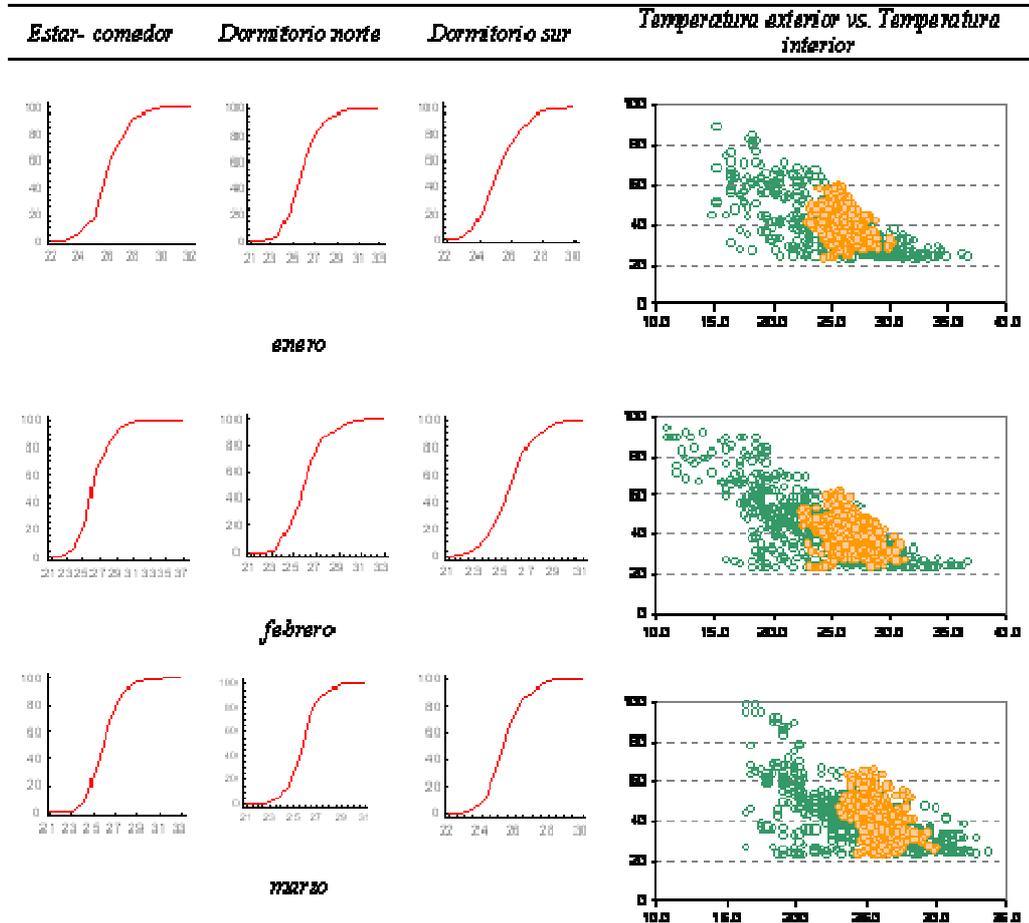
En el dormitorio sur, el porcentaje de horas en confort se mantuvo en un 90%. Durante febrero la temperatura media en el estar-comedor, dormitorio norte y dormitorio sur fue de 1.5°C superior a la temperatura media exterior (24.4°C). La variabilidad de la temperatura interior fue del 6.4%, mientras que en el exterior fue del 20.3% (Ver Tabla 3).

Hacia marzo, los diagramas de frecuencia acumulada muestran cómo aumentó el período de tiempo con temperaturas inferiores a 27°C. En el dormitorio sur prácticamente se alcanza el 100%. Se observa en el gráfico de dispersión que aumentó el contenido de humedad para temperaturas inferiores a 27°C. En la Tabla 3 se observa que

durante marzo la temperatura media interior fue de 1.2°C superior a la temperatura media exterior (24.6°C). La variabilidad máxima de la temperatura interior fue del 6.2% en la cocina., mientras que en el exterior fue del 14.9%.

muestra un ambiente confortable, aún con cortinas de enrollar levantadas en horas inadecuadas, la ventana alta del dormitorio sur sin el sistema de oscurecimiento y/o ventanas abiertas en horarios que no fueron compatibles con nuestras pautas de diseño.

La cortina de enrollar se instaló a mediados de marzo. Bajo estas circunstancias, la evaluación higrotérmica interior



Referencias: Eje X = Temperatura (°C) - Eje Y = Frecuencia acumulada (%)

Fig. 7: Frecuencia acumulada de valores horarios de temperatura.

### 3.2. Algunos períodos

En la Figura 8 se observa el comportamiento térmico de los tres locales con áreas transparentes al norte y de la cocina entre el 25 y el 31 de enero de 2009. Hay una secuencia de días con cielo claro y una irradiancia máxima sobre superficie horizontal de casi 1000 W/m<sup>2</sup> y una temperatura exterior máxima que estuvo durante tres días entre los 30 y 33 °C. En la madrugada del día 29 se observa un descenso de la temperatura interior (velocidad de viento = 4 m/s). Si bien las curvas están muy acopladas la que corresponde a la cocina está por sobre las otras, situación previsible por el calor generado por cocción de alimentos. La temperatura media de la cocina es de 26.5°C, 1.3°C por encima del baño y del dormitorio sur. La temperatura promedio del estar-comedor está 0.3°C por encima del dormitorio norte (25.6°C) y 0.7°C por encima del dormitorio sur (25.2°C) para una temperatura media exterior de 23.6°C. El día 27

con buena disponibilidad del recurso solar, pero con un descenso de 5°C de la temperatura exterior, la temperatura interior se mantiene alrededor de los 25°C (velocidad de viento de 4,6 m/s). De todo el mes de febrero se apartan los últimos 8 días caracterizados por una secuencia de días con cielo claro (irradiancia solar máxima sobre superficie horizontal = 900 W/m<sup>2</sup>). Durante el primer día se observó un descenso de la temperatura mínimas, con mínimas que llegaron a 11°C, y de la radiación solar, situación que benefició el comportamiento térmico interior. La temperatura máxima fue ascendiendo hasta superar los 30°C el día 26. Durante los últimos cinco días, de alta irradiancia y altas temperaturas, la temperatura interior está algo por encima de los 25°C. El comportamiento del PD sin acondicionamiento mecánico del aire se considera altamente satisfactorio. (Ver Figura 9).

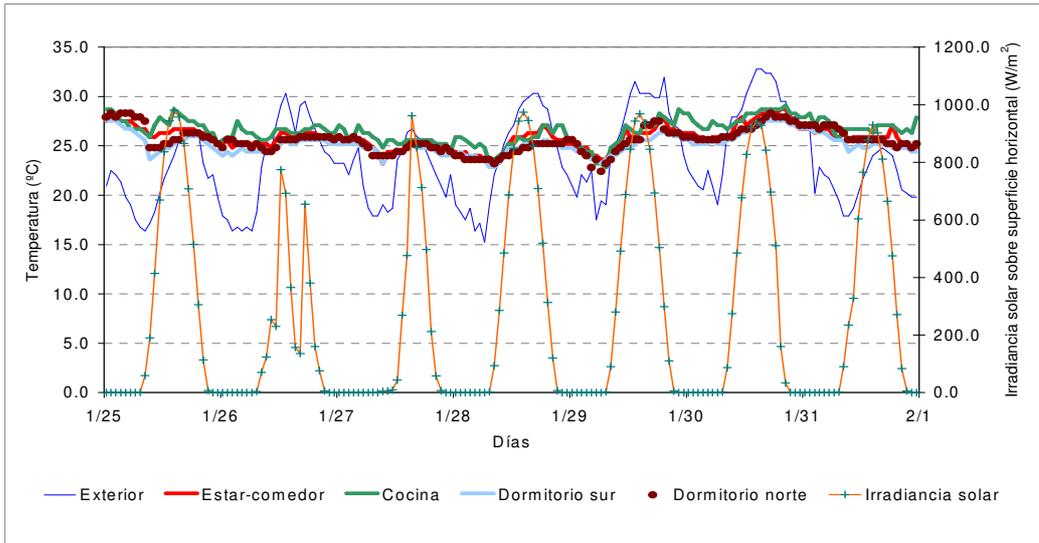


Fig. 8: Comportamiento térmico de los locales con áreas vidriadas al norte en la última semana de enero de 2009.

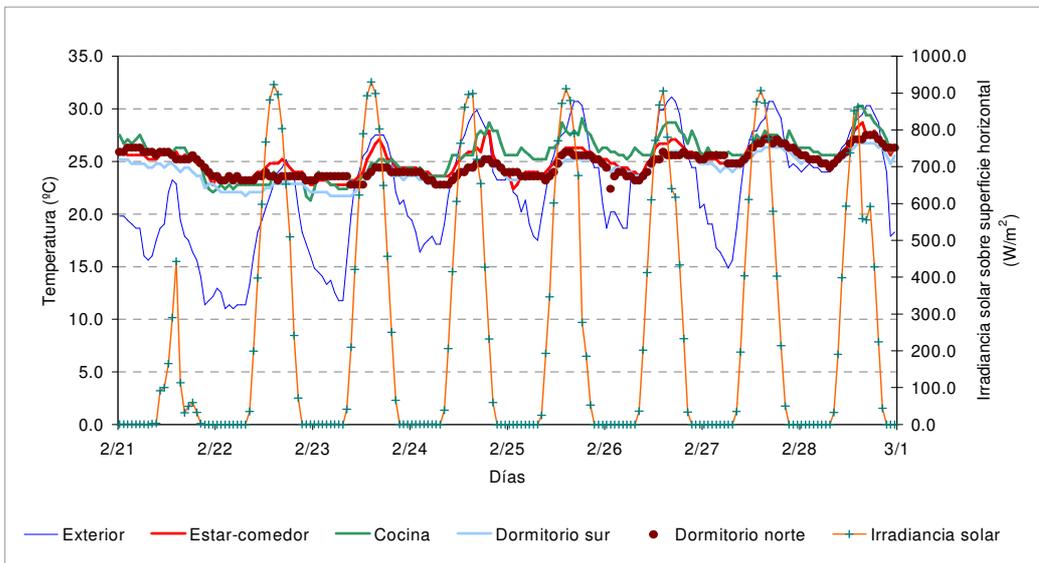


Fig. 9: Comportamiento térmico de los locales con áreas vidriadas al norte en la última semana de febrero de 2009.

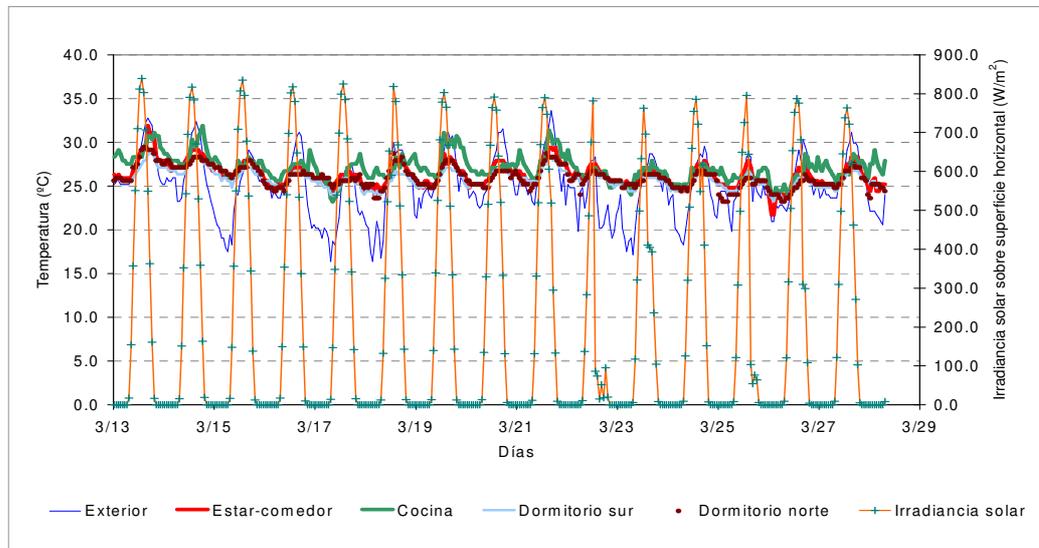


Fig. 10: Comportamiento térmico durante la última quincena de marzo de 2009.

Todo el mes de marzo se caracterizó por una alternancia de 4 o 5 días con temperaturas máximas de alrededor de 32°C y uno o dos días con valores máximos de 27 a 28°C. El día 22-03, ya iniciado el otoño se observa la temperatura máxima más alta del mes (34°C). La temperatura máxima interior fue de 28°C. En las primeras horas de la mañana del 23 de marzo hay un descenso de la temperatura interior hasta un valor mínimo de 24°C. También durante las primeras horas de la mañana del día 25 hay un descenso marcado de la temperatura del estar-comedor llegando hasta 21.7°C (temperatura exterior = 21°C) (apertura de ventanas en horas adecuadas). A pesar del temor a sobrecalentamiento en marzo los resultados fueron auspiciosos, nuevamente sin acondicionamiento mecánico. (Ver Figura 10).

#### 4. OTOÑO E INVIERNO EN CONDICIONES REALES DE USO.

En este período las condiciones de monitoreo internas fueron:

- a- sin calor auxiliar hasta la segunda semana de junio (se usa calo-ventor en dormitorio norte, actual oficina de la secretaria de la Mutual)
- b- las ventanas estuvieron totalmente abiertas entre las 13 y las 15.30h
- c- durante la noche permanece personal de vigilancia en el estar-comedor.

Bajo estas condiciones la Tabla 4 muestra los resultados. Abril se caracterizó por días con cielo claro (excepto el 1º) con valores máximos de irradiancia solar entre 600 y 730 W/m<sup>2</sup>. La temperatura media de la vivienda fue de 24.5°C (1.3°C por debajo de la de marzo), 2.8°C por encima de la media exterior. La variabilidad de la temperatura media entre locales fue del 1.1% (no habría casi zonificación térmica). Mientras en el exterior la variabilidad fue del 20%, en el interior osciló entre el 1.7 y el 7%. Durante mayo hubo una alternancia de días con cielo claro y día nublados. Los valores máximos de irradiancia solar estuvieron entre los 500 y 600 W/m<sup>2</sup>

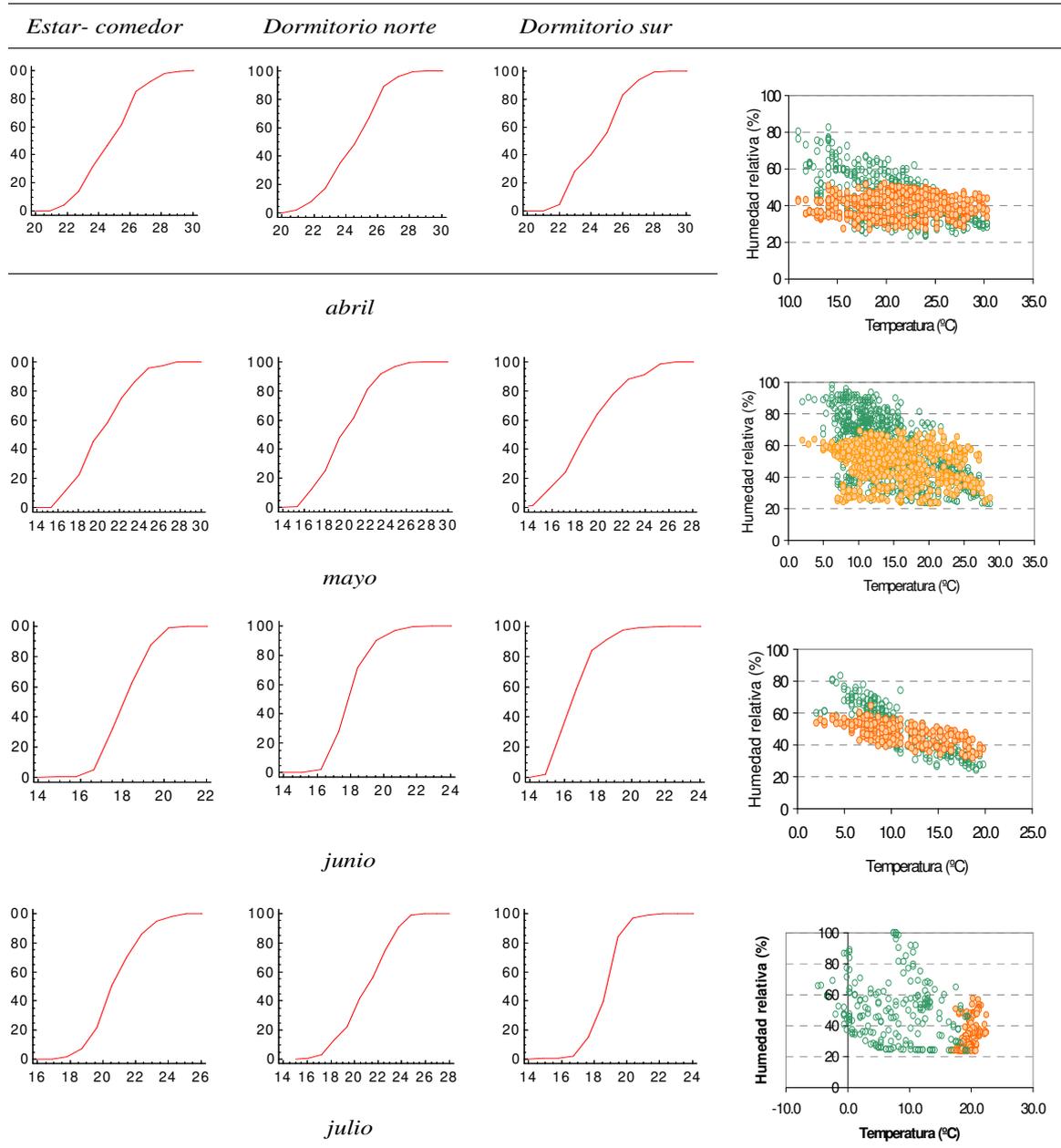
Tabla 4: Valores de temperatura media y variabilidad durante el otoño

Temperatura (°C)	sin calefacción									Julio			
	Abril			Mayo			Junio ( primera quincena)						
	prom	std	cv	prom	std	cv	prom	std	cv	prom	std	cv	
Estar-comedor	24.7	1.7	6.9	20.2	2.7	13.4	18.1	1.0	5.8	20.6	1.5	7.2	
Cocina	24.9	1.7	6.8	20.1	2.9	14.4	18.0	1.6	9.1	18.3	1.4	7.6	
Baño	24.2	1.4	5.9	19.5	2.6	13.4	17.3	0.8	4.9	-	-	-	
Dormitorio	S	24.4	1.7	7.0	19.1	2.8	14.8	16.4	0.8	4.8	18.7	1.4	5.7
	N	24.5	1.7	7.0	19.9	2.5	12.7	17.9	1.2	6.8	20.8	2.1	9.9
Promedio Vivienda	24.5	0.3	1.1	19.8	0.4	2.0	17.5	0.7	4.0	19.6	1.3	6.5	
Exterior	21.7	4.3	20.0	15.0	5.5	36.5	11.1	4.2	37.9	9.7	5.5	56.9	

Durante la última semana se combinó un descenso de la temperatura con una secuencia de días con cielo nublado con una irradiancia máxima entre 300 y 400 W/m<sup>2</sup>. Durante este mes la temperatura media en la vivienda descendió 4.7°C respecto a la de abril (24.5°C) y estuvo 4.8°C por sobre la temperatura media exterior (15.0°C). La temperatura media en los locales solarizados osciló entre los 19.1 y 20.2°C. Entre los días 12 y 13, la irradiancia solar máxima estuvo entre los 100 y los 200 W/m<sup>2</sup> y la temperatura mínima exterior alcanzó los 10°C y los 5°C. Bajo estas condiciones climáticas poco favorables la temperatura mínima en el estar-comedor y en el dormitorio norte no fue inferior a 10 y 16°C, respectivamente. En el dormitorio sur la temperatura descendió hasta los 14°C. La primera quincena de junio se caracterizó por el cielo claro con una irradiancia máxima de 500 W/m<sup>2</sup>. La temperatura media interior descendió 2.3°C respecto a la de mayo pero estuvo 6.4°C por encima de la media exterior. En junio la temperatura media más baja correspondió al dormitorio sur (16°C) pero la mínima no estuvo por debajo de los 15°C. Durante julio la temperatura media exterior fue de 9.7°C. La

temperatura promedio en el interior de la vivienda fue de 19.6°C, es decir que estuvo 9.9°C por encima de la temperatura media exterior.

En la figura 11 se observa un histograma de frecuencia acumulada de los valores horarios de temperatura. Durante abril el 80% del tiempo la temperatura estuvo entre 20 y 27°C, porcentaje que sube al 90% en los dormitorios. El gráfico de dispersión muestra la mayor concentración de puntos entre 18 y 27°C. No se observan horas en las cuales la temperatura estuviera en 27°C o más y con humedades relativas superiores al 50%. La temperatura media interior estuvo 2.8°C por encima de la media exterior (21.7°C) (Ver Tabla 4). En mayo, sin calefacción auxiliar, y aún con un descenso de la temperatura exterior (valores mínimos = 2°C), tanto en el estar-comedor como en el dormitorio norte el 80% del tiempo la temperatura estuvo entre 18 y 27°C. En el dormitorio sur, más expuesto a los vientos fríos, el porcentaje baja al 75% y la temperatura mínima fue de 14.5°C. De acuerdo a la Tabla 4, mientras la temperatura media exterior fue de 15.0°C, la interior fue de 19.8°C.



Referencias: Eje X = Temperatura (°C) - Eje Y = Frecuencia acumulada (%)

Fig. 11: Frecuencia acumulada de valores horarios de temperatura

Durante junio el 60% del tiempo en el estar-comedor la temperatura está entre 18 y 22°C, igual porcentaje se observa en el dormitorio norte, algo más cálido (temperatura máxima 24°C). Tanto en el estar-comedor como en el dormitorio norte, la temperatura no bajó de los 17.5°C (casi 15°C por sobre la mínima exterior). Sólo el 20% del tiempo en el dormitorio sur la temperatura estuvo entre 18 y 24°C, local en el cuál la temperatura mínima fue de 15.6°C para una temperatura exterior mínima de 2.9°C. En el gráfico de dispersión hay un corrimiento de la nube de puntos hacia la izquierda y se observan valores de humedad relativa del 60%, resultado quizás de la menor renovación de aire y acumulación de vapor. En esta primera quincena de junio la temperatura media interior estuvo 6.1°C por encima de la media exterior (11.4°C) (Tabla 4). Durante julio, con calefacción auxiliar, en el estar comedor y el dormitorio

norte el 95% del tiempo la temperatura osciló entre 18 y 24°C. En el dormitorio sur, el porcentaje disminuye a 80% y bajó la temperatura máxima a 22 °C. La temperatura media estuvo 9°C por encima de la exterior (9.7°C). (Tabla 4). En el gráfico de dispersión nuevamente se observan valores de humedad relativa cercanos al 60%.

La figura 12 muestra el comportamiento térmico durante los primeros diez días de junio. Según párrafos anteriores no hubo calefacción auxiliar. Sí se observa en el dormitorio norte el día 5 el encendido de una fuente de calor. Durante julio la temperatura exterior alcanzó un valor mínimo de -5.0°C. Tanto en el estar-comedor como en el dormitorio norte, la temperatura no bajó de los 17.5°C. En el dormitorio sur la mínima en este período fue de 15.0°C (sólo en dos días).

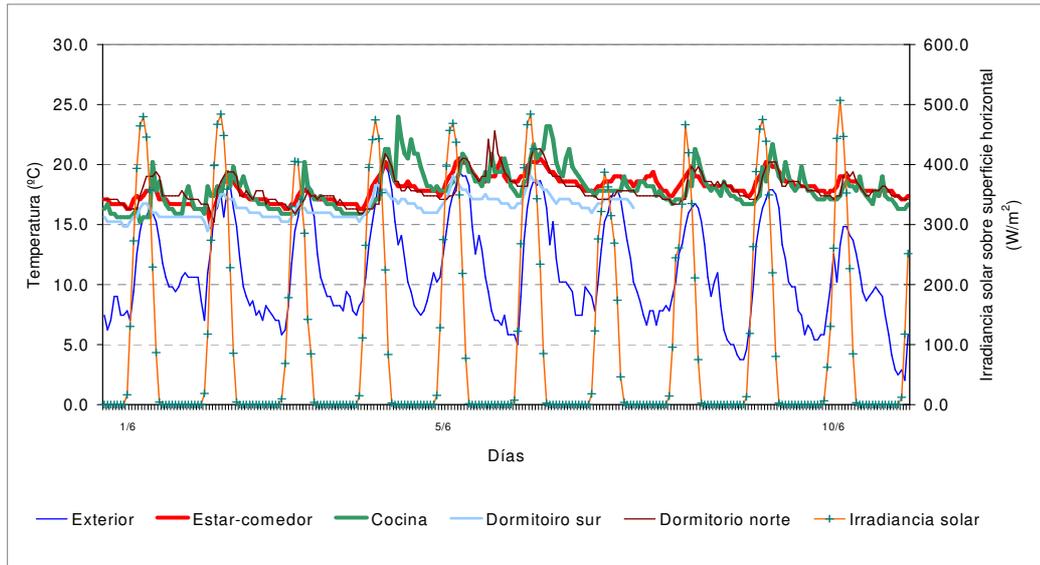


Fig. 12: Comportamiento térmico durante los primeros días junio de 2009 sin calefacción auxiliar.

En la Figura 13 se observa el comportamiento térmico durante la semana más rigurosa (entre el 17 y 26 de julio). Un cielo claro con una irradiancia de 500 W/m<sup>2</sup> y el uso de

calentamiento auxiliar permitió alcanzar el confort aún con temperaturas exteriores rigurosas.

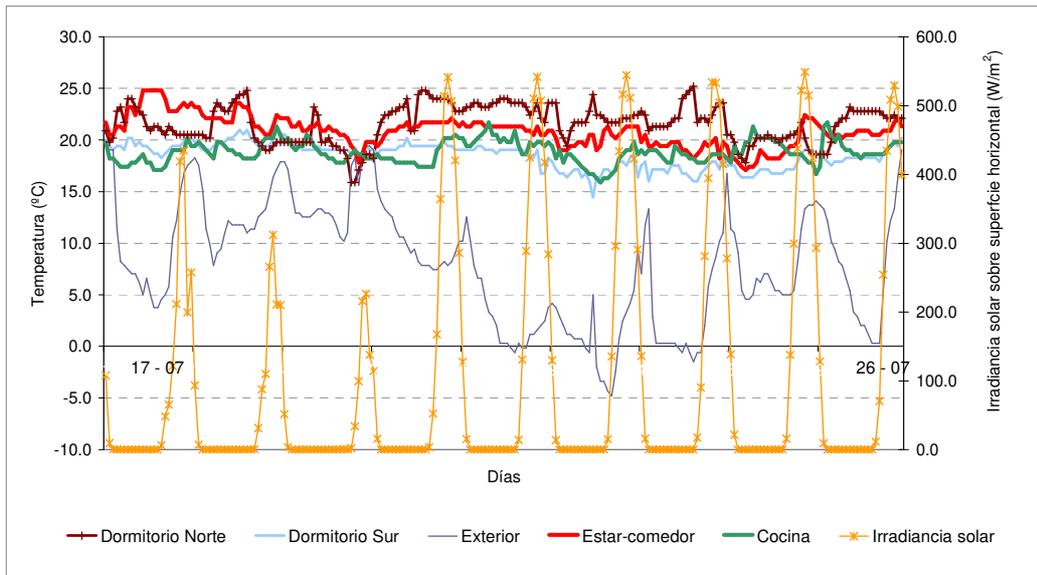


Fig. 13: Comportamiento térmico durante un período de julio.

### 5. ANÁLISIS DEL BALANCE TÉRMICO Y ESTIMACION DEL CONSUMO DE ENERGÍA AUXILIAR

En la Tabla 5 se observa el balance realizado para estimar el déficit de energía para alcanzar la temperatura medida en junio y julio.

#### 5.1. Propuesta de calefacción híbrida solar-gas.

El déficit de energía de 40 MJ/d puede cubrirse con 4m<sup>2</sup> de colectores (rendimiento del 57%) que deben estar casi verticales (75°) para no aportar significativamente en verano, y proveer el máximo en el invierno. Para este caso con 3 colectores solares y un termo-tanque de unos 500 litros, se puede proveer el consumo medio de ACS y calefacción. Por supuesto es necesario el apoyo de gas o

eléctrico para los días con ausencia de sol y/o períodos de intenso frío.

La propuesta es entonces el uso de una caldera mural, la más pequeña en sus prestaciones, que se enciende automáticamente cuando la temperatura en el termo-tanque es menor a la prefijada. La bomba de la caldera hace circular por el piso radiante el agua del termo-tanque solar, y, como dijimos solo se enciende ante el déficit de energía solar.

Esta forma de entregar la energía permite trabajar en el termo-tanque solar entre los 40 y 45°C, la misma temperatura necesaria para la calefacción que para el ACS. También es el sistema de calentamiento por circulación de agua más eficiente, comparado con los radiadores de pares. Esta propuesta es de mayor costo inicial, pero el costo de gas ulterior es mínimo. La ventaja sustancial es que la

temperatura del ambiente se mantiene de forma automática, y la temperatura es muy uniforme en todo el ambiente. Esto

significa una mayor calidad de confort. En la Figura 14 se muestra el esquema del funcionamiento del sistema.

Tabla 5 : Balance de energía vs .consumo real de gas

Período	Temperatura (°C) (ver Tablas de monitoreo)			Pérdidas Totales (MJ/d) (Pérdidas diarias = 15.18 MJ/°C/d)	Ganancia solar (MJ/d) 9m <sup>2</sup> de área vidriada al Norte 70% de eficiencia	Equipamiento y calor metabólico (MJ/d)	Déficit estimado de calor (MJ/d)	Q auxiliar medido (MJ/d)
	Exterior	Interior	Δt					
Junio	14.4	17.1	6.1	100.80	92.60	8.80		
Julio	9.7	19.6	9.9	150.28	110.25	11.16	40.03	28.87 (*)

Referencias: (\*) Consumo de gas verificado en el mes: 33 kg de propano, equivalentes energéticamente a 44,3 m<sup>3</sup> de gas metano. El calor de combustión es: 52.5 MJ/kg (12,5 Mcal/kg x 4.2 MJ/Mcal). Para un rendimiento del calefactor por tiro balanceado del 50% el calor ganado es de 26,25 MJ/kg. Se aportó con gas 28.87 MJ/d (26,25 MJ/kg x 1,1 kg/d) que cubrió la demanda no balanceada por la radiación entrante de sol y equilibró la vivienda en la temperatura muy próxima a la deseada (19,6°C). Por supuesto que la calefacción con una estufa de tiro balanceado con gas natural es la propuesta más económica. Gastará aproximadamente 44 m<sup>3</sup> de metano en julio más la mitad de esto en los meses de junio y agosto. Esto totaliza 88 m<sup>3</sup> anuales de gas natural. Los autores del presente trabajo proponen un sistema híbrido de calefacción.

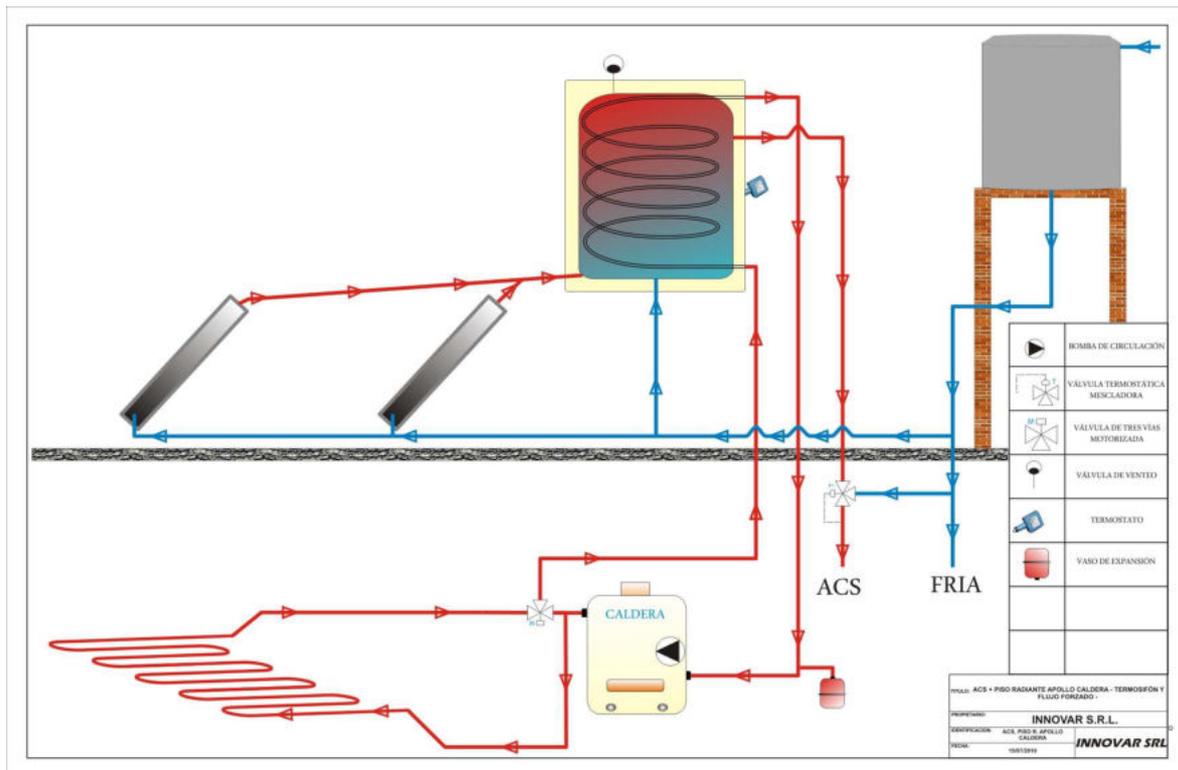


Fig. 14: Esquema de funcionamiento del sistema propuesto (Innovar SRL)

## 5.2. Esquema de funcionamiento de los colectores.

El sistema se caracteriza por calentamiento por termosifón y un circuito abierto al termo-tanque. Tanto el ACS como el recurso necesario para la calefacción se extraen directamente del termo-tanque a través de una serpentina intercambiadora. Es decir, la calefacción funciona con circuito

cerrado, necesario para la durabilidad del equipo. El termostato de ambiente es el encargado de accionar o detener la bomba. Si la temperatura en el termo-tanque se encuentra por encima de los 40 a 45°C, la caldera no enciende. Lo hace cuando dicha temperatura es inferior al valor mencionado.

## 6. CONCLUSIONES

El estudio permitió mostrar los resultados preliminares del comportamiento térmico post-ocupación de la vivienda bioclimática. Decíamos en párrafos anteriores que el uso real de esta vivienda no estuvo acorde con las pautas de diseño y la aplicación de las buenas prácticas para maximizar la performance térmica y optimizar el consumo de energía.

Los resultados obtenidos se consideran buenos partiendo del hecho que durante enero y febrero el sereno que ocupó en forma temporaria la vivienda abrió y cerró las puertas y ventanas en horas inadecuadas según consta en los datos registrados en cuaderno de campo. Por ejemplo, el estar-comedor permaneció abierto durante el día, cerrado durante la noche. Las ventanas de los dormitorios, baño y cocina estuvieron siempre abiertas, día y noche. Bajo estas condiciones, la temperatura media según registros tomados en los locales, estuvo 1.5°C por encima de las predicciones realizadas para una temperatura media exterior similar a la media del verano del 2009.

Se debe remarcar que en la etapa de diseño y simulación, se consideró que las cortinas de enrollar se bajaban en horarios adecuados, teniendo en cuenta que durante los primeros años el entorno adyacente de la vivienda estaría totalmente desprotegido. Otro detalle importante al considerar del clima de verano de San Luis es que la velocidad media del viento es de 6,5 m/s, lo que significa una sensación térmica menor que la temperatura ambiente.

Durante el otoño, y en el inicio del invierno con temperaturas cercanas a 0°C las áreas solarizadas se mantuvieron entre 15 y 21°C sin calefacción auxiliar. Durante julio, con un consumo diario de gas envasado de 1.06 kg, equivalentes a aproximadamente 1,42 m<sup>3</sup> de metano, la temperatura media interior fue de 19.6°C, muy confortable, con 9.9 °C por encima de la media exterior (9.7°C). Durante la etapa de pre-diseño hablábamos de un consumo de 1.06m<sup>3</sup> para lograr una temperatura media de 18°C (temperatura exterior 10.2°C).

Se observa comparando, que la calefacción aportó en el mes de julio 3,8°C más en la temperatura interna de la casa que en el mes de junio, es decir un 38% del total de energía demandada por la vivienda. El restante 62% fue aporte solar. Los resultados del comportamiento térmico de la vivienda, con un área efectiva de ganancia solar directa al norte del 14.5% respecto al área útil, se consideran auspiciosos, acorde con hábitos de uso de la vivienda (cortinas de enrollar levantas y ventanas abiertas en horas inapropiadas en el verano y en el invierno). Según el modelo teórico se necesitarían en julio 1.06 m<sup>3</sup> de metano por día para alcanzar una temperatura media en la vivienda de 18°C. La experiencia muestra que esa temperatura se supera (alcanza 19,6°C) con calefacción auxiliar de gas (1.43 m<sup>3</sup> diarios de tiro balanceado).

El déficit de energía se puede cubrir también con 4m<sup>2</sup> de colectores solares (rendimiento del 57%) y un termotanque de unos 500 litros. El sistema diseñado a partir del monitoreo experimental del prototipo puede proveer el consumo medio de ACS y calefacción. Por supuesto es necesario el apoyo de gas o eléctrico para los días con ausencia de sol y/o períodos de intenso frío.

## REFERENCIAS

- Beascochea A., Follari J., Filippín C. y Klush L. (2008), Diseño y construcción de un proyecto demostrativo bioclimático en San Luis. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, **12**, 05. 65 - 05. 72.
- Czajkowski, Jorge Daniel y Gómez, Analía Fernanda (1994). *Introducción al diseño bioclimático y la economía energética edilicia*. Argentina.
- EEO (1991).
- Esteves A., Gelardi D., Oliva A. (1997). "The Shape in the Bioclimatic Architecture: The FAEP Factor"- *Proceedings of II Conf. Teachers in Architecture*, Florencia, Italia, cap. 3.12.
- Flores Larsen S. y Lesino G. (2001). Modelo térmico del programa SIMEDIF de simulación de edificios. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, **9**, 15-24, ISSN 0328-932X.
- Goulding, J., Owen Lewis, J. and Steemers, T. (1994). Energy in Architecture. *The European Passive Solar Handbook* . P. 301.
- Grossi Gallegos, H. y Righini, R. (2007). *Atlas de Energía Solar de la República Argentina*. ISBN: 978-897-9285-36-7
- Hinge, A. et al. (2008). Sustainability in commercial building: Bridging the gap from design to operations. *Green Building Insider* - 23 May .
- Mascaró, L. (1983). Variación de los costos de los edificios con las decisiones arquitectónicas pp. 137. Universidad Nacional de La Plata. Argentina
- Nawawi, Abdul Hadi and Khalil, Natasha (2008). Post-occupancy evaluation correlated with building occupants' satisfaction: An approach to performance evaluation of government and public buildings. *Journal of Building Appraisal*. **4**, 2 , 59-69.
- New Building Institute (2008). Recuperado en Julio de 2011 de <http://buildings.newbuildings.org/>
- Norma IRAM 11604 (2001). Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente global de pérdidas. Cálculo y valores límites.
- Olgyay, Victor (1998). *Arquitectura y Clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Editorial GG. ISBN: 84-252-1488-2
- Servicio Meteorológico Nacional (1992). *Estadísticas Climatológicas* 1981-1990. Serie B - N° 37.
- Stevenson, Fionn; Rijal, Hom (2008). Paper N° 595: The Sigma Home: towards an authentic nevaluation of a prototype building. PLEA 2008- 25<sup>th</sup> Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 22<sup>nd</sup> to 24<sup>th</sup> October 2008.
- Way, M. & Bordass, B. (2005), 'Making feedback and post-occupancy evaluation routine 2: Soft landings – involving design and building teams in improving performance', in *Building research and information*, **33**, 4, 353-360.